

Nous avons étudié, en mécanique, l'interaction gravitationnelle qui intervient entre deux corps caractérisés par leurs masses. Nous allons considérer, dans ce qui suit, une autre interaction, l'interaction électrique, qui fait intervenir le concept de charge électrique. L'électrostatique est la partie de l'électricité qui ne fait intervenir que des charges fixes.

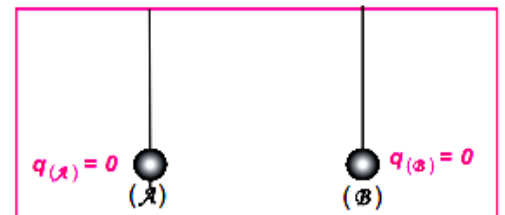


I. Interactions électriques.

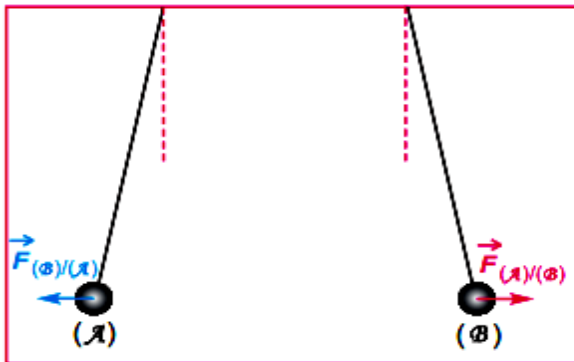
a- Activité expérimentale

à l'aide d'un bâton d'ébonite ; électrisons deux sphères métalliques (A) et (B) ; on observe une répulsion (doc 1)

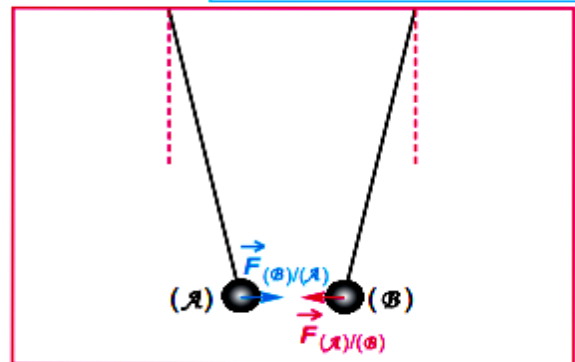
On répète la même opération en utilisant pour (A) un bâton d'ébonite et pour (B) un bâton en verre; on observe une attraction (Doc.2)



Les deux boules ne portent pas des charges électriques; les fils restent verticaux.



Doc.1 : Les deux boules portent des charges électriques de mêmes signes; l'interaction est répulsive.



Doc.2 : Les deux boules portent des charges électriques de signes contraires ; l'interaction est attractive.

b- Enoncé de la loi de Coulomb

Loi de Charles-Augustin Coulomb (1736-1806)

- Au XVIII^e siècle, Charles-Augustin Coulomb a démontré que la répulsion ou l'attraction entre deux charges ponctuelles q_A et q_B distantes d'une distance r est due à la force d'interaction électrostatique entre ces deux charges ponctuelles.

• Enoncé :

L'interaction électrique entre deux points matériels A et B, de charges électriques respectives q_A et q_B , séparées par une distance $d = AB$ est modélisée par des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ telles que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = K \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \cdot \vec{u}$$

- Module de la force électrique $F_e = K \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{d_{AB}^2}$ exprimé dans (SI) en N

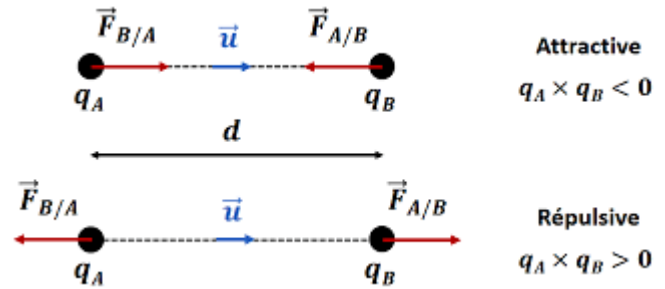
Avec k est une constante de coulomb électrique qui dépend des unités et du milieu dans lequel sont placées les charges

Sa valeur dans le vide et dans l'air est : $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

La constante ϵ_0 est appelée permittivité du vide : $\epsilon_0 = 8.8541878 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$

Remarque : Dans l'air, K a pratiquement la même valeur que dans le vide.

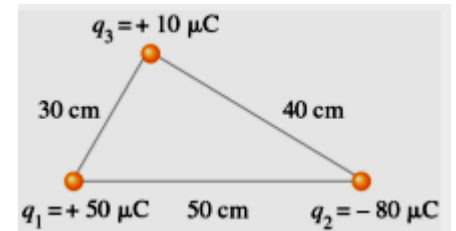
- Expression vectorielle de la loi de Coulomb :
Les caractéristiques de la force exercée par l'objet (A) sur l'objet (B) sont décrites par l'expression vectorielle de la loi de Coulomb.
- $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = K \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \cdot \vec{u}$ pour $q_A \cdot q_B < 0$ l'interaction est **attractive**.
- $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = K \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \cdot \vec{u}$ pour $q_A \cdot q_B > 0$ l'interaction est **répulsive**.



Exercice d'application N°1 :

Trois petites sphères chargées sont fixées aux sommets d'un triangle.
Calculer la force exercée sur q_3 par les autres charges.

Rp : $F = 67 \text{ N}$

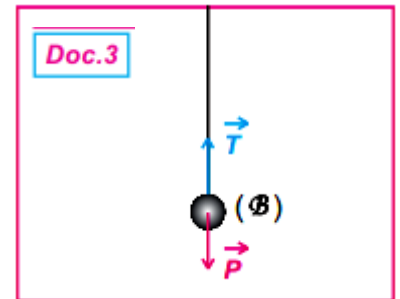


II. Notion de champ électrique

1- Mise en évidence de l'existence du champ électrique.

a- Activité expérimentale.

dans une région (R) de l'espace dépourvue de charges électriques, Plaçons un pendule électrique dont la boule (B) porte une charge électrique $q < 0$.
La boule reste en équilibre stable sous l'action de son poids $\vec{P}$ et de la tension $\vec{T}$ du fil. (voir Doc 3)



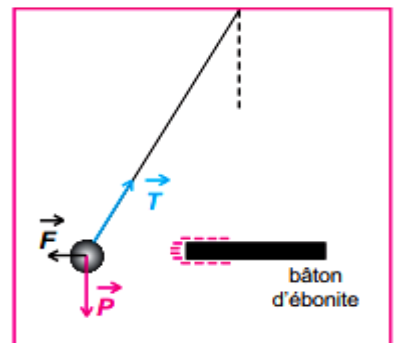
En approchons de la boule (B), l'extrémité d'une baguette en ébonite chargée négativement; on observe une déviation du pendule d'un angle α (voir Doc 4)

cette déviation est causée par l'apparition d'une troisième force $\vec{F}$ d'origine électrique qui agit sur la boule.

b- Conclusion :

La présence de la charge portée par le bâton d'ébonite a modifié les propriétés électriques de l'espace environnant.

Pour traduire ce changement, on dit que dans la région (R) règne un champ électrique noté $\vec{E}$



c- Définition :

Un champ électrique règne dans une région de l'espace si, dans cette région, un corps électrisé subit une force électrique.

2- Vecteur champ électrique et force électrique.

Une charge Q qui modifie les propriétés électriques d'un espace (R) donné est considérée comme une source du champ électrique, On dit qu'une telle charge a créé le champ électrique $\vec{E}$ dans l'espace environnant.

- Un point M du champ électrique est caractérisé par le vecteur champ électrique $\vec{E}(M)$ tel que :
une charge ponctuelle q placée en ce point, subit l'action d'une force électrique $\vec{F} = q \cdot \vec{E}(M)$.

si q est positive, $\vec{F}$ a le même sens que $\vec{E}$	si q est négative, $\vec{F}$ a le sens opposé de celui de $\vec{E}$

3- Champ électrique créé par une charge ponctuelle

- ▶ Une charge électrique Q , placée en un point A d'un espace (R) , crée un champ électrique caractérisé en chaque point M de cet espace par un vecteur champ électrique $\vec{E}(M)$
- ▶ une charge électrique témoin q , placée en M , subit une force $\vec{F} = q \cdot \vec{E}(M)$.
et d'après la loi de Coulomb, on peut écrire :

$$\vec{F} = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \cdot \vec{u}$$

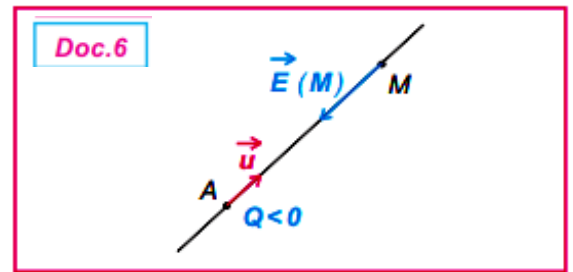
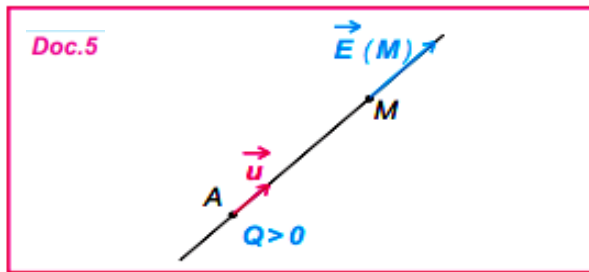
Donc ; d'après les deux relations précédentes on déduit l'expression vectorielle du vecteur champ électrique $\vec{E}(M)$ créé par la charge Q au point M de l'espace champ électrique.

$$\vec{E} = K \cdot \frac{Q}{d^2} \cdot \vec{u} \quad \|\vec{E}\| = E \quad \text{exprimé en } N \cdot C^{-1} \text{ ou } V \cdot m^{-1}$$

Avec

- ▶ Q : la charge source du champ électrique $\vec{E}$ exprimée en **C** (coulomb)
- ▶ $d=AM$ exprimée en **m** (mètre)
- ▶ $\vec{u}$ le vecteur unitaire est porté par la droite (AM) et dirigé de A vers M

Selon le signe de la charge source on deux cas :



Exercice d'application n°2:

Une charge $Q = 5 \mu C$ est placée en un point A . Soit un point B situé à 10 cm de A . Quel est le champ électrique au point B ? Si maintenant, on place une charge $q = 3 \mu C$ au point B , quelle sera la force subie par q ?

4- Spectre électrique et ligne du champ électrique.

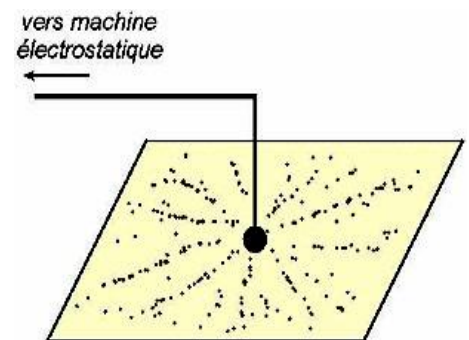
Topographie du champ électrostatique :

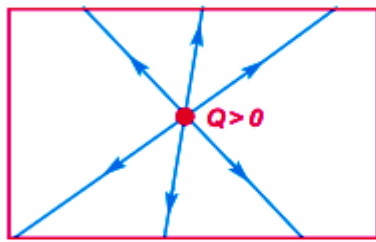
https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Champs/champE.php

a- Activité (mise en évidence des lignes du champ électrique)

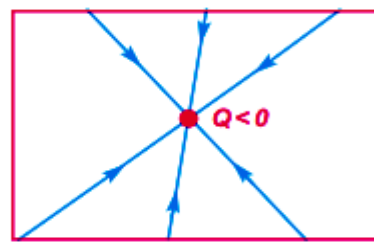
Dans l'huile de paraffine contenu dans un petit cristalliseur, on plonge l'extrémité d'une tige conductrice reliée à l'un des pôles d'une machine électrostatique.

- ▶ Saupoudrons avec des grains légers (de ricin par exemple) la surface libre du liquide et faisons fonctionner la machine (ou un générateur).
- ▶ On observe que les grains s'orientent en se disposant suivant des lignes radiales
- ▶ Le vecteur champ électrique est tangent à ces lignes en chacun de leurs points.
On les appelle des lignes de champ.





Doc.7-a-



Doc.7-b-

Le champ crée au point M par la charge source Q en A est centrifuge (divergent)

Le champ crée au point M par la charge source Q en A est centripète (convergent)

b- Définition du ligne de champ électrique

On appelle ligne de champ la ligne qui, en chacun de ses points, est tangente au vecteur champ électrique $\vec{E}$. Les lignes de champ sont orientées dans le sens du vecteur champ électrique.

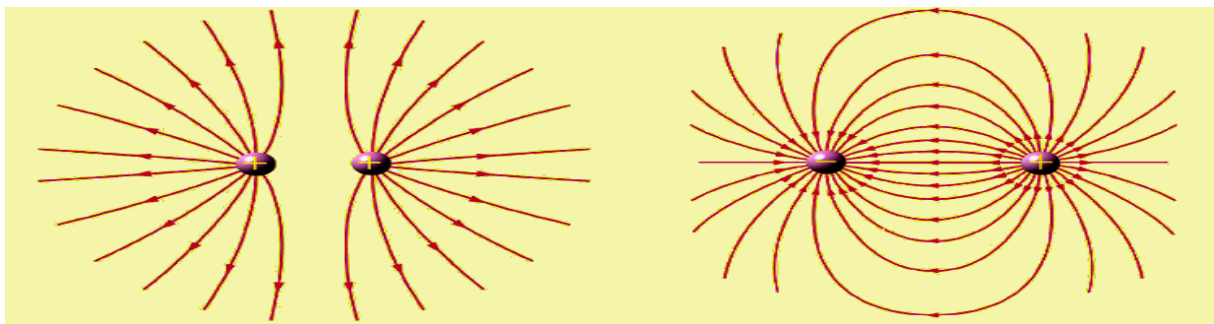
III. Champ électrique créé par deux charges ponctuelles

1- Spectre du champ électrique résultant

https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulouze/Elec/Champs/lignes_champE.php

a- Activité :

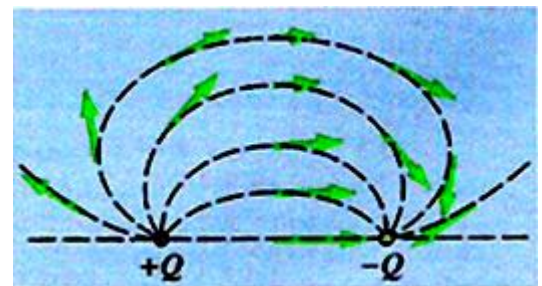
Le spectre électrique de deux charges ponctuelles est visualisé à l'aide de grains légers saupoudrés à la surface d'un liquide isolant où plongent deux pointes métalliques reliées à une machine électrostatique.



On dit qu'il y a superposition de deux champs $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_2$ conduit à un champ résultant $\vec{E}_t$ au voisinage de deux charges.

b- Conclusion :

Une ligne de champ électrique est donc une courbe tangente au vecteur $\vec{E}_t$ en chacun de ces points. L'ensemble de ces lignes forme un spectre électrique. Le sens de ces lignes va toujours de la charge (+) vers la charge (-). Elles sont en fait orientées dans le même sens que le vecteur $\vec{E}_t$.



2- Vecteur champ électrique

Considérons deux charges ponctuelles : $q_1 > 0$ et $q_2 < 0$ placés respectivement aux points A et B et un point C qui n'appartient pas à la droite (AB) tel que $|q_1| = |q_2|$

Soit $\vec{E}_1$ le vecteur champ électrique créé par la charge q_1 au point C et $\vec{E}_2$ celui créé par la charge q_2 au point C.

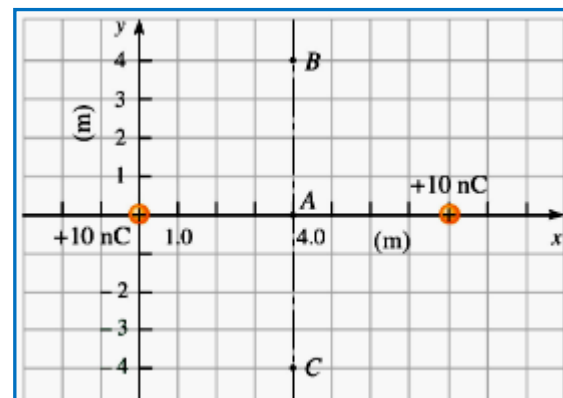
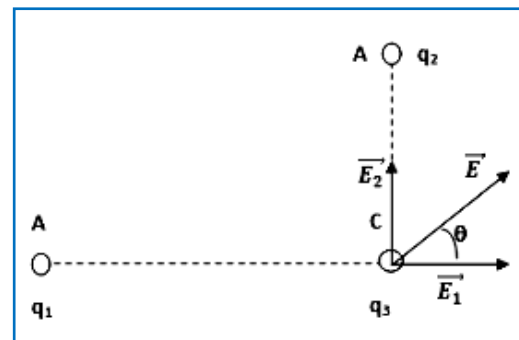
Le vecteur champ électrique résultant $\vec{E}_t$ créé par les deux charges au point C est égale à la somme des deux vecteurs

$$\vec{E}_t = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Généralisation :

Le vecteur champ électrique créé par un ensemble de charges électriques ponctuelles est égale à la somme des champs électriques créé par chaque charge électrique.

$$\vec{E}_t = \sum_i \vec{E}_i$$



Exercice d'application n°3 :

A- Deux charges ponctuelles chacune de $q = +10 \text{ nC}$, sont fixées à une distance de 8.0m. Calculer le champ électrique aux points A, B et C.

Rp : $E_A = 0$, $E_B = E_C = 4 \text{ N/C}$

B- Soient deux charges opposées q et $-q$ situées aux abscisses a et $-a$ sur un axe Δ

Calculer le champ électrique $\vec{E}$ sur l'axe et dans le plan médiateur.

Trouver les formes asymptotiques à grande distance.

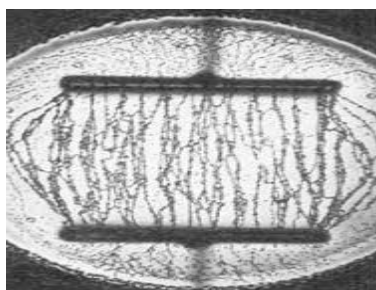
IV. Champ électrique uniforme

1- Définition : Un champ électrique est dit uniforme dans une région de l'espace si le vecteur champ conserve en tout point de cette région, la même direction, le même sens et la même valeur.

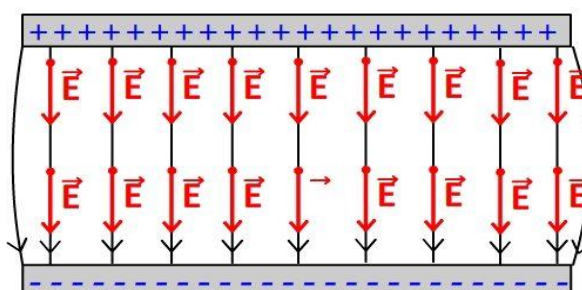
2- Mise en évidence du champ électrique uniforme

On relie les deux plaques de cuivre, préalablement placées dans la cuve contenant de l'huile de paraffine, aux pôles (+) et (-) du générateur entre lesquels on maintient une tension de quelques kilovolts (Doc-10).

On saupoudre la surface de l'huile de paraffine avec les grains de semoule, ces derniers s'orientent en se disposant suivant des droites perpendiculaires aux plaques



Doc.10-a



Doc.10-c